فصلنامــه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گــذاری
سال دهم/ شماره چهل‌ام/ زمستان ۱۴۰۰

بهینه‌سازی الگوریتم معاملات زوجی پربسامد با استفاده از تلفیق الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی

مجتبی دستوری
عضو هیات علمی گروه مدیریت مالی، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران. (نویسنده مسئول)
dastoori@ut.ac.ir

سعید مرادپور
عضو هیات علمی گروه مدیریت مالی، دانشکده علوم انسانی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۱۹

چکیده

در پژوهش حاضر مسئله اصلی بهبود عملکرد الگوریتم معاملات زوجی پربسامد با استفاده از تلفیق الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی است. برای این منظور دو فرضیه توسعه داده شده است. جامعه آماری شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران هستند که نمونه آماری به‌واسطه نیاز به معاملات پربسامد از ۵۰ شرکت برتر محدود شده و از این میان ۳۳ سهم در ۹ صنعت انتخاب شدند. پس از پیاده‌سازی سه روش پایه، کنترل فرایند آماری فازی و روش ترکیبی ژنتیک الگوریتم - کنترل فرایند آماری فازی نتایج عملکرد روش‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد، در روش پایه ۴۳/۱۰۰٪ بازده، در روش کنترل فرایند آماری فازی ۵۵/۲۸٪ بازده و در روش ترکیبی ژنتیک الگوریتم - کنترل فرایند آماری فازی میانگین بازده ۶۳/۵۹٪ کسب شده است. در آزمون تی صورت‌گرفته بین بازده حاصل از روش‌های پایه و کنترل فرایند آماری فازی و همچنین روش‌های پایه و روش ترکیبی ژنتیک الگوریتم - کنترل فرایند آماری فازی تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد. بر اساس نتایج مدل کنترل فرایند آماری فازی و الگوریتم ژنتیک که افزایش قابل تأملی نسبت به مدل‌های پیشین در افزایش متوسط بازدهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: معاملات زوجی، الگوریتم ژنتیک، کنترل فرایند آماری، معاملات پربسامد.

۱- مقدمه

بازارهای مالی به‌واسطه پویایی‌ها و رشد روزافزون آنها همواره نیازمند به‌روزرسانی ابزارهای مورداستفاده در معاملات است. سیستم معاملات زوجی یکی از انواع الگوریتم‌های معاملاتی است که از رایج‌ترین استراتژی‌های آربیتراژ آماری بوده و به‌صورت گسترده‌ای مورداستفاده معامله گران، سرمایه گذران نهادی و مدیران صندوق‌های سرمایه‌گذاری قرار گرفته است. به‌عبارت‌دیگر معاملات زوجی یک استراتژی معاملاتی است که از ناکارایی بازار بر یک جفت سهام سود می‌برد و ایده اصلی آن بهره‌گیری از الگوی تفاوت موجود میان قیمت دو سهم است. بر مبنای این روش؛ هدف شناسایی دو سهم با روند قیمتی مشابه و موقعیت‌های فروش و خرید هم‌زمان می‌باشد، در زمانی که روند قیمتی آن‌ها به‌صورت غیرعادی و خلاف قاعده از یکدیگر دور می‌گردد و بنابراین می‌توان انتظار داشت که قیمت این دو سهم در آینده به میانگین نزدیک خواهد گردید (پرلین[۱]، ۲۰۰۹؛ کالدریا و مورا[۲]، ۲۰۱۳). با این توصیف و باتوجه‌به پیشرفت‌های اخیر در حوزه ارتباطات با سرعت و پهنای باند بالای با سیم و بی‌سیم و روش‌های محاسباتی قدرتمند، معاملات پربسامد را در ارتباط با استراتژی‌های آماری بازارهای خنثی نظیر معاملات زوجی به کار گرفته است. بدین ترتیب با کاهش قابل‌توجه دوره نگهداشت از هفته به‌روز، ساعت به دقیقه و یا حتی دوره‌های زمانی کوتاه‌تر، تواتر بازدهی افزایش‌یافته است (میاو[۳]، ۲۰۱۴).

چالش‌های پیشروی الگوریتم معاملاتی عمدتاً به تعریف آستانه‌های درست برای بیشینه نمودن بازده باتوجه‌به ویژگی‌های متناسب هر جفت سهم متفاوت است. به‌عبارت‌دیگر طراحی یک الگو برای تمامی جفت سهم‌ها نمی‌تواند رویکرد مناسبی برای سرمایه‌گذاری باشد. ازاین‌رو بایستی به دنبال ترکیب روش‌ها و مدل‌هایی بود که بتواند با تلفیق با الگوریتم اولیه این نقصان را تا حدی مرتفع نماید. با این اوصاف؛ در این پژوهش سعی بر آن خواهد بود تا از روش کنترل فرایند آماری که در مدیریت تولید با هدف بهبود مستمر در کیفیت و افزایش بهره‌وری و به‌منظور حذف تغییرپذیری فرایند؛ به کار برده می‌شود،

۲-پیشینه تحقیق

طادی، آبکار و مطهری نیا (۱۳۹۷) با طراحی و اجرای الگوی معاملات زوجی با استفاده از رویکرد فاصله‌ای و اجرای آن بر روی زوج سهم‌های انتخابی از صنعت استخراج کانه‌های فلزی در بازه زمانی یک‌ساله سال ۱۳۹۵ پرداختند. این محققین نتایج حاصل از اجرای مدل معاملات زوجی خود با استراتژی خرید و نگهداری مقایسه نمودند. نتایج پژوهش آنان حکایت از آن داشت که با فرض اینکه پیاده‌سازی این سیستم معاملاتی بر مبنای وجود فروش استقراضی شکل‌گرفته شده باشد، عملکرد آن در قیاس با استراتژی خرید و نگهداری تفاوت معناداری خواهد داشت. بدین ترتیب که در سطح آستانه برابر با ۰٫۶ نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بازده حاصل از معاملات زوجی مساوی ۱۵۳٪ و میانگین بازده استراتژی خرید و نگهداری مساوی ۲۴٪ می‌باشد.
فلاح‌پور و حکیمیان (۱۳۹۶) در پژوهش خود با استفاده از مبانی استراتژی معاملات زوجی با محاسبه و بررسی بازده و نسبت سورتینو؛ به بررسی عملکرد حاصل از اجرای الگوی خود با رویکرد هم انباشتگی بر روی داده‌های مرتبط با نمونه‌ای منتخب از شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و در دوره زمانی شش‌ماهه

اردیبهشت الی آبان‌ماه ۱۳۹۴ پرداختند. نتایج مطالعات آنان حاکی از پیشی گرفتن ملموس بازدهی استفاده از استراتژی معاملات زوجی در قیاس با بازدهی معمولی سهام در مدت‌زمان مشابه داشت؛ به‌گونه‌ای که بازدهی مربوط به پنج زوج سهم موردمطالعه در پژوهش آنان در یک دوره شش‌ماهه معادل ۳۶٪ گزارش گردیده است.

عزیززاده و عبادی (۱۳۹۶) به اجرای استراتژی معاملات زوجی بر پایه روش غیر پارامتری ترسیمات رنکو و کاگی که دو نمودار اندیکاتور ژاپنی پرداختند. در روش مورداستفاده آن‌ها از اطلاعات مربوط به تغییرات فرایند اسپرد استفاده نموده و علی‌رغم انطباق کلیه مراحل روش آنان بر روش‌های معمول معاملات زوجی؛ میانگین ثابتی بر فرایند اسپرد در بلندمدت در نظر گرفته نشده است و فرض این شیوه؛ ثابت بودن ویژگی‌های آماری تلاطم فرایند اسپرد می‌باشد. نتایج اجرای مدل آن‌ها بر روی زوج سهم خستراک و ختوقا منتج به بازدهی برابر با ۹۱,۵۲٪ و در خصوص زوج سهم خمحرکه و خودرو منجر به کسب بازدهی معادل ۶۴,۳۳٪ گردیده است.

میکلسن (۲۰۱۸) به بررسی عملکرد استراتژی معاملات زوجی بر روی سهام ۱۸ شرکت غذای دریایی در بخش کالاهای مصرفی در بورس اسلو با استفاده از داده‌های پربسامد و درون روزی پرداخته است. این محقق استراتژی معاملات زوجی را با هر یک از رویکردهای هم انباشتگی و رویکرد تصادفی به مرحله اجرا درآورده است و سپس به قیاس نتایج حاصل از آن پرداخته است. یافته‌های این محقق در اجرای استراتژی معاملات زوجی حاکی از یک واگرایی بالا در بین زوج سهم‌های انتخابی و عدم سوددهی بالا در صورت درنظرگرفتن هزینه‌های معاملاتی بوده است. به پیشنهاد این محقق؛ اطلاعات بنیادین شرکت‌ها دراین‌خصوص می‌بایست دخیل گردد.

کلگ و کروس (۲۰۱۸) با استفاده از هم انباشتگی جزئی که شکل ضعیف شده‌ای از هم انباشتگی می‌باشد و این اجازه را برای هم انباشتگی باقی‌مانده‌ها فراهم می‌آورد که دارای تئوری مسیر تصادفی و بازگشت به میانگین باشند؛ به بررسی استراتژی معاملات زوجی پرداختند. این موضوع که از فضای حالت مشتق گردیده است؛ یک روال برآورد درست‌نمایی بیشینه و یک آزمون نسبت درست‌نمایی را فراهم می‌آورد. این محققین؛ با استفاده از هم انباشتگی جزئی به‌عنوان شناسایی زوج سهم‌های با روند تعادلی یکسان؛ بر روی اتخاذ موقعیت معاملاتی و سیگنال‌های خریدوفروش تمرکز یافتند و با پیاده‌سازی استراتژی خود بر روی ترکیبی از شرکت‌های *S&P500* به بیش از ۱۲٪ بازده سالیانه پس از کسر هزینه‌های معاملاتی دست یافتند.

استوبینگر و اندرس (۲۰۱۸) با استفاده از الگوی معاملات زوجی بر پایه اصل بازگشت به میانگین و مدل انتشار پرش[۴] که به دنبال مدل‌سازی پرش‌های یکباره قیمت بر اساس فرایند پوآسن می‌باشد؛ الگوی جدید خود را بر روی داده‌های درون روزی شرکت‌های نفتی فهرست شده در *S&P500* با فاصله یک دقیقه اجرا نمودند. یافته‌های پژوهش آنان حاکی از دستیابی به بازدهی برابر با ۶۰,۶۱٪ و نسبت شارپ معادل با ۵,۳۱ بعد از کسر هزینه‌های معاملاتی بود. سپس آنان الگوی خود را با نتایج حاصل از رویکرد فاصله‌ای به بوته محک گذارده که در این قیاس مدل ارائه شده توسط آنان عملکرد بهتری ازنقطه‌نظر بازده را ارائه نمود.

چیو و وانگ (۲۰۱۸) الگوی معاملات زوجی را با استفاده از مفاهیم احتمال‌های برابر و هم شانس؛ تست رباست و روش تابع پنالتی (جریمه) که شامل یک پارامتر پنالتی و میزانی از نقض محدودیت‌ها در زمان رانده شدن زوج سهم از میانگین بلندمدت و نقض هم انباشتگی می‌باشد؛ ارائه نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها با استفاده از

شبیه‌سازی و داده‌های واقعی حاکی از آن است که استراتژی معاملات زوجی بر پایه روش رباست در مقایسه با الگوهای دیگر؛ اصولاً باثبات‌تر و کم نوسان تر می‌باشند.

فاراگو و جالمارسن (۲۰۱۸) به بررسی مفهوم تئوریک زوج سهم‌های انباشته در سودآوری استراتژی معاملات زوجی پرداخته است. یافته‌های پژوهش آنان نشان داد که همبستگی ضعیف بازده‌های سهم در طول زمان به معنای نسبت شارپ بسیار بالا می‌باشد. تاحدی‌که از دیدگاه تئوریک نسبت شارپ بالا مبین این دو پیشنهاد می‌باشد که یا هم انباشتگی بین دو به دوی سهام وجود ندارد و سود حاصل از معاملات زوجی در نتیجه یک ساختار ضعیف‌تر و وابستگی و هم حرکتی کم ثبات تر بین دو سهام می‌باشد و یا همبستگی پیاپی در بازده سهام به طور قابل‌توجهی در یک افق زمانی بلندتر نسبت به آن چه فرض می‌گردد؛ کشیده شده باشد.

بون و هاچینسن (۲۰۱۶) مطالعه خود را بر روی عملکرد استراتژی معاملات زوجی در بازار سهام بریتانیا متمرکز نمودند. آن‌ها با بیان این موضوع که در دوره بحران؛ این استراتژی‌ها نتایج مناسبی به همراه خواهد داشت؛ با کنترل دو فاکتور ریسک و نقدینگی به ارزیابی این سیستم‌های معاملاتی با احتساب هزینه‌های معاملاتی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که معاملات زوجی به‌صورت اندکی در معرض عوامل ریسک نظیر اندازه؛ ارزش؛ مامنتوم و واژگونی قرار می‌گیرند و یک مدل کنترلی برای ریسک می‌تواند بازدهی بیشتری را در پیاده‌سازی این استراتژی‌ها به همراه داشته باشند.

هاک و افاوبو (۲۰۱۵) به پیاده‌سازی استراتژی معاملات زوجی بر روی داده‌های*S&P500* با هدف کشف بهترین روش انتخاب زوج سهم‌ها پرداختند. این محققین با اشاره به تمرکز ادبیات موضوعی بر روی رویکرد تصادفی؛ از رویکرد هم انباشتگی نیز با این توضیح که سیستم معاملاتی را ازنقطه‌نظر محاسباتی پویاتر و پرتقاضاتر می‌کند؛ استفاده نمودند. آن‌ها در بیان نتایج تحقیقات خود بیان داشتند که بعد از کنترل ریسک و نادیده‌گرفتن هزینه‌های معاملاتی؛ بهره‌گیری از رویکرد تصادفی در اجرای این استراتژی منتج به بازده کم و در مقابل استفاده از روش هم انباشتگی بازدهی بالاتر و باثبات‌تر را به همراه خواهد داشت.

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر را از نظر هدف کاربردی و از بعد کمی و کیفی نیز یک مطالعه کمی است و از نظر نحوه گردآوری داده‌ها یک تحقیق توصیفی می‌باشد. در داده های مورد استفاده در این پژوهش از سری زمانی استفاده خواهد شد و قلمرو تحقیق حاضر در مدیریت مالی بخش سرمایه گذاری و الگوریتم های معاملاتی قرار می گیرد.

جامعه آماری این پژوهش شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران است و باتوجه‌به این‌که استراتژی معاملات زوجی پربسامد به دنبال بهره‌گیری از شرایط ناکارایی قیمت‌ها و اتخاذ موقعیت‌های معاملاتی از کسری از ثانیه تا چند ساعت می‌باشد، ازاین‌رو؛ به‌منظور انتخاب نمونه مورد بررسی از شرکت‌های لیست شده در فهرست پنجاه شرکت فعال و برتر بورس اوراق بهادار تهران طی دوره یک‌ساله ۱۳۹۵ استفاده گردیده است. از سوی دیگر، ازآنجاکه احتمال وجود رابطه تعادلی بلندمدت در میان دو سهم از یک صنعت مشابه بیشتر می‌باشد؛ نخست فهرستی از شرکت‌هایی که در دوره زمانی مورد بررسی این پژوهش در لیست پنجاه شرکت فعال وجود

داشته‌اند؛ به تفکیک صنعت مربوطه تهیه و سپس این فهرست بر اساس شاخص‌هایی نظیر میزان سرعت و حجم معاملات، نقدشوندگی و همچنین دسترسی به داده‌های درون روزی موردنیاز کوتاه گردیده است. بدین ترتیب نمونه مورد بررسی در این پژوهش در نه صنعت و مجموعاً ۳۳ شرکت است.

جدول ۱ اسامی نمونه مورد بررسی به تفکیک صنعت (منبع: سایت بورس اوراق بهادار تهران)

نام صنعت	نام شرکت
مخابرات	مخابرات، ارتباطات سیار
استخراج کانی های فلزی	توسعه معدن روی، گلگهر، چادرملو
بانکها	بانک پاسارگاد، اقتصاد نوین، سینا، پارسیان، انصار، ملت، صادرات، تجارت
سرمایه گذاریها	سرمایه گذاری سایپا و سرمایه گذاری خوارزمی
پتروشیمی	پتروشیمی خارک، پتروشیمی خلیج فارس، پتروشیمی جم، پتروشیمی پردیس، پتروشیمی نفت و گاز
خودرو و قطعات	گروه بهمن، سرمایه گذاری رنا، سایپا دیزل، ایران خودرو، سایپا، پارس خودرو، ایران خودرو دیزل
فلزات اساسی	فولاد مبارکه، صنایع ملی مس
چند رشته ای صنعتی	سرمایه گذاری غدیر، سرمایه گذاری صندوق بازنشستگی
فرآورده های نفتی	پالایش نفت اصفهان، پالایش نفت بندرعباس، نفت بهران

فرضیه‌های این پژوهش به شرح زیر هستند:

فرضیه اول: بین بازده الگوریتم معاملات زوجی به روش پایه و روش کنترل فرایند آماری فازی تفاوت معناداری وجود دارد.

فرضیه دوم: بین بازده الگوریتم معاملات زوجی به روش کنترل فرایند آماری و روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی تفاوت معناداری وجود دارد.

در روند پژوهش ابتدا به تعریف اسپردها پرداخته می‌شود. از لگاریتم قیمت همه جفت سهام‌های انتخاب شده برای ساخت فرایندهای اسپرد $\{y_{i,j}\}$ به منظور پیاده سازی سیستم معاملات زوجی به صورت زیر استفاده می گردد:

$$y_{i,j}(t) = Log\ P_i(t) - Log\ P_j(t) \qquad (۱)$$

با انجام آزمون هم انباشتگی و شناسایی یک زوج سهم که روند قیمتی آن‌ها در بلندمدت یکسان می‌باشد، درصورتی‌که قیمت سهام i ام در زمان t با P_t^i نمایش داده شود؛ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} log(P_t^A) - log(P_{t-1}^A) = \alpha_A(log(P_{t-1}^A) - \gamma\ log(P_{t-1}^B) - \mu_\omega) + \varepsilon_A \\ log(P_t^B) - log(P_{t-1}^B) = \alpha_B(log(P_{t-1}^A) - \gamma\ log(P_{t-1}^B) - \mu_\omega) + \varepsilon_B \end{cases} \qquad (۲)$$

که شکل برداری به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} log(P_t^A) - log(P_{t-1}^A) \\ log(P_t^B) - log(P_{t-1}^B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_A \\ \alpha_B \end{bmatrix} (\omega_{t-1} - \mu_\omega) + \begin{bmatrix} \varepsilon_{At} \\ \varepsilon_{Bt} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

پس از شناسایی هم انباشتگی و ارتباط بلندمدت در شکل شماره ۱ ساختار پارامتریک (شبه کد) روش هم انباشتگی در طراحی و پیاده‌سازی سیستم معاملات زوجی در این پژوهش نمایش‌داده‌شده است.

Input: M,N,Price1,Price2,stopless
Output: T_1,T_2,indicator
for *each pair* **do**
  loop = TRUE;
  i = M;
  while *loop* **do**
    s1 = Price1(i-M+1:i);
    s2 = Price2(i-M+1:i);
    if *cointegration(s1,s2) == TRUE* **then**
      residual = s1-s2;
      σ = Standard Deviation of *residual*;
      μ = Mean of *residual*;
      indicator(i:i+N-1) = (residual-μ)/σ;
      T_2(i:i+N-1) = ((residual-μ)/σ > 1) & ((residual-μ)/σ < stopless) - ((residual-μ)/σ <-1) & ((residual-μ)/σ > -stopless);
      T_1(i:i+N-1) = -T_2(i:i+N-1);
      i = i + N;
    else
      i = i+1;
    end
    if *i*>|*s1*|-*N* **then**
      loop = FALSE;
    end
  end
end

شکل ۱ ساختار پارامتریک (شبه کد) مدل پایه

(منبع: یافته های پژوهش)

باتوجه‌به شکل فوق، درصورتی‌که بر اساس پنجره تخمین؛ هم انباشتگی بین دو سهم مورد تأیید واقع گردید، در مرحله بعد با گشایش پنجره معاملاتی و با درنظرگرفتن Δ برابر با $\pm 1\sigma$ میانگین بلند مدت؛ هر زمان که اسپرد از این حدود تجاوز کند، موقعیت های معاملاتی باز می شوند و در صورت بازگشت به میانگین استراتژی معکوس

پیاده می گردد؛ همچنین با اتمام زمان در نظر گرفته شده برای پنجره معاملاتی و یا رانده شدن اسپرد از تعادل بلند خود که در این روش عبور از حد ضرر $\pm 3\sigma$ میانگین بلندمدت می باشد، موقعیت های معاملاتی متوقف می شوند.

کنترل فرایند آماری فازی، فرایند سیستم‌ها با داده‌های مبهم و غیرقطعی، از نمودارهای کنترل فازی استفاده می‌گردد. بدیهی است استفاده از نمودارهای کنترل فازی در فرموله‌کردن و به‌کارگیری داده‌های مبهم و فازی؛ مسبب افزایش کنترل و بهبود فرایند می‌گردد. در تئوری مجموعه‌های فازی؛ اطلاعات و داده‌های غیرقطعی و فازی در قالب مجموعه‌های فازی مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس با عملگرهای آماری غیر فازی ساز نظیر میانگین، میانه و مد فازی به مقادیر دقیق مبدل شده و پس از آن نمودارهای کنترل باز ترسیم می‌شوند. اعداد فازی مورداستفاده به شکل زیر است:

عدد فازی $\tilde{a}$ بر R به عنوان یک عدد فازی ذوزنقه ای تعریف می گردد؛ در صورتی که اعداد حقیقی همچون a^U، a^L و $0 \geq \beta$ وα وجود داشته باشد به گونه ای که:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \frac{x-(a^L-\alpha)}{\alpha}, & a^L - \alpha \leq x \leq a^L \\ 1, & a^L \leq x \leq a^L \\ \frac{(a^U+\beta)-x}{\beta}, & a^U \leq x \leq a^U + \beta \\ 0, & o.w. \end{cases} \qquad (۴)$$

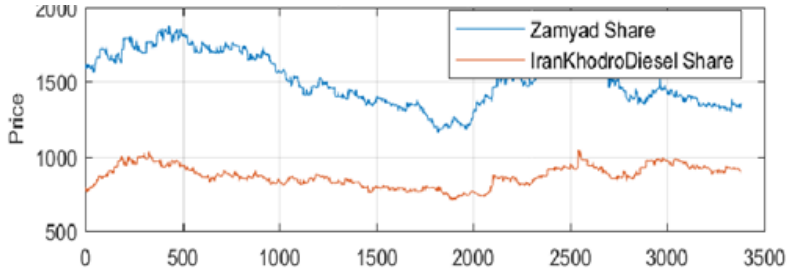
شایان‌ذکر است درصورتی‌که $a^L = a^U$ گردد، عدد فازی ذوزنقه ای مبدل به عدد فازی مثلثی می گردد (بهمنش و ناصری، ۱۳۹۲)

الگوریتم ژنتیک یکی از شیوه‌های جستجوی غیرخطی برای حل مسائل بهینه‌سازی قلمداد می‌گردد. این الگوریتم که برای نخستین‌بار به‌وسیله جان هالند و همکارانش معرفی گردید؛ با الگوبرداری از طبیعت و بر پایه تکامل زیستی و به‌صورت هوشمند و تصادفی به مقادیر بهینه دست می‌یابد. الگوریتم ژنتیک به طور مداوم جمعیتی از راه‌حل‌های منفرد را اصلاح می‌نماید که به آن تکامل می‌گویند و در هر مرحله از تکامل با انتخاب کاملاً تصادفی دو عضو در نقش والدین، فرزند آن را به‌عنوان نسل بعدی لحاظ می کند و بدین صورت جمعیت به سمت تکامل و حصول یک راه‌حل بهینه حرکت می‌نماید. در این پژوهش تابع شایستگی ماکزیمم کردن بازدهی می‌باشد. ازآنجاکه فرض بر آن است که داده‌ها و اطلاعات نزدیک‌تر؛ درجه تأثیرگذاری بیشتری بر روی میانگین داشته باشند؛ با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دنبال یافتن مقادیر بهینه برای وزن هر یک از داده‌ها در محاسبه میانگین و انحراف معیار پنجره‌های تخمین می‌باشیم.

۴- یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پایه بر روی زوج سهم‌های انتخابی در قالب خروجی‌های زیر قابل‌تحلیل می‌باشد. به‌عنوان‌مثال در خصوص شرکت زامیاد و شرکت ایران‌خودرو دیزل در شکل شماره ۲ روند قیمتی این زوج سهم

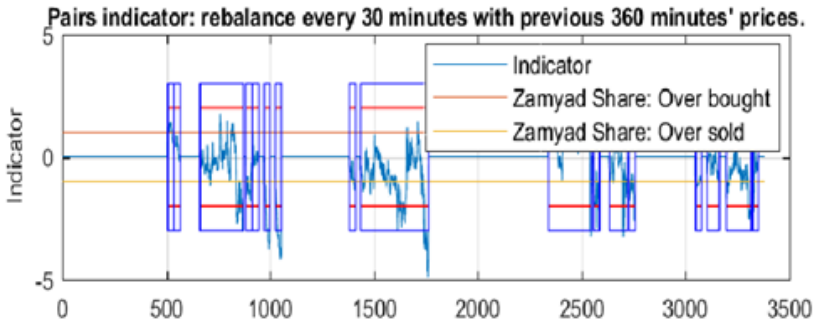
نمایش‌داده‌شده است. این تصویر نشان‌دهنده سری زمانی متشکل از قیمت‌های درون روزی به فاصله ۵ دقیقه برای هر یک از این سهام می‌باشد، هم حرکتی قیمت این دو سهم مشخص گردیده است.



شکل ۲ روند قیمتی جفت سهم ایران‌خودرو دیزل و زامیاد

(منبع: یافته‌های پژوهش)

پس از مشخص‌شدن دو سهم؛ اختلاف قیمتی آن‌ها مشخص می‌گردد و از طریق فرمول‌های مربوطه؛ نماگر اختلاف قیمتی دو سهم محاسبه می‌گردد که در شکل ۳ نمایش‌داده‌شده است. در صورت تأیید هم انباشتگی در طول پنجره تخمین (از دقیقه ۰ تا دقیقه ۳۶۰)، پنجره معاملاتی به مدت ۳۰ دقیقه بازمی‌گردد که این پنجره‌ها نیز در شکل زیر به تصویر کشیده شده است. در این صورت پنجره تخمین بعد از دقیقه ۳۰ تا دقیقه ۳۹۰ بازمی‌گردد و اگر وجود رابطه هم انباشتگی بین دو سهم تأیید نگردد، پنجره تخمین بعد یک دقیقه روبه‌جلو یعنی از دقیقه ۱ تا ۳۶۱ تشکیل می‌شود.

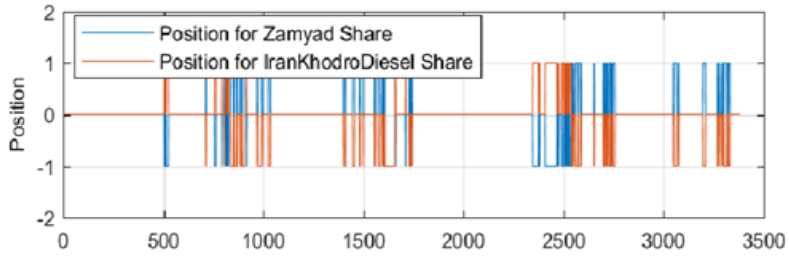


شکل ۳ نماگر و پنجره‌های تخمین و معاملاتی سهام ایران‌خودرو دیزل و زامیاد

(منبع: یافته‌های پژوهش)

باتوجه‌به وضعیت پنجره معاملاتی و حرکت نمودار و بر پایه مبانی نظری انتظار بر آن می‌باشد که نماگر با فاصله‌گرفتن از میانگین بر مبنای وجود یک تعادل بلندمدت به میانگین بازگردد. در این صورت معامله‌ای با

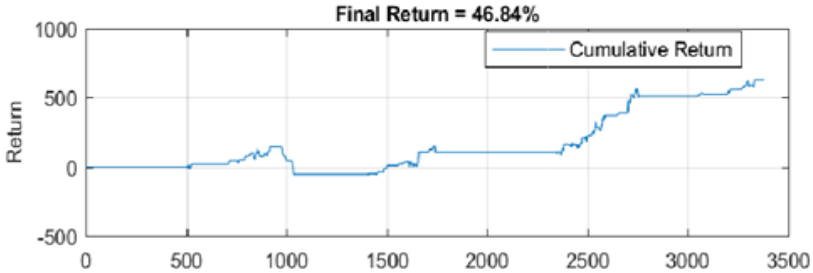
مبنای وجود خریدوفروش استقراضی طراحی شده که همواره سهام گران‌تر فروخته شده و سهام ارزان‌تر خریداری می‌شود و در زمان بازگشت نماگر به سمت میانگین و قرارگرفتن در زیر $+1\sigma$ و یا بالای -1σ میانگین استراتژی معکوس انجام می پذیرد. نحوه خرید و فروش زوج سهم ایران خودرو دیزل و زامیاد در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. از سوی دیگر؛ در صورت رانده شدن و فاصله گرفتن از میانگین بلندمدت که در این بخش عبور از $\pm 3\sigma$ میانگین می باشد و یا اتمام زمان ۳۰ دقیقه پنجره معاملاتی، موقعیت های معاملاتی بسته می شود.



شکل ۴ اتخاذ موقعیت‌های معاملاتی در مدل پایه برای سهام ایران‌خودرو دیزل و زامیاد

(منبع: یافته‌های پژوهش)

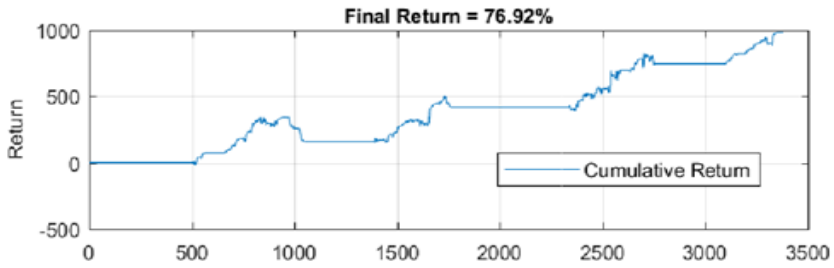
پس از اجرای استراتژی معاملات زوجی طراحی شده بر روی زوج سهم‌های انتخابی، سود و بازده هر معامله بر مبنای خریدوفروش استقراضی برحسب قیمت‌ها و تغییرات آنها محاسبه شده است. شکل شماره ۴-۶ نشان‌دهنده بازده تجمعی معاملات صورت‌گرفته در خصوص سهام شرکت‌های ایران‌خودرو دیزل و زامیاد می‌باشد. با توجه این نمودار بر اساس ۱۴۰ جفت معامله صورت‌گرفته؛ بازده ناشی از معاملات با فرض عدم وجود هزینه معاملاتی مجموع بازده تجمعی ناشی از تمامی خریدوفروش‌ها ۴۶٫۸۴٪ برای جفت سهم زامیاد و ایران‌خودرو دیزل بوده است.



شکل ۵ بازده تجمعی و تعداد معاملات صورت پذیرفته در خصوص سهام ایران‌خودرو دیزل و زامیاد مدل پایه

(منبع: یافته‌های پژوهش)

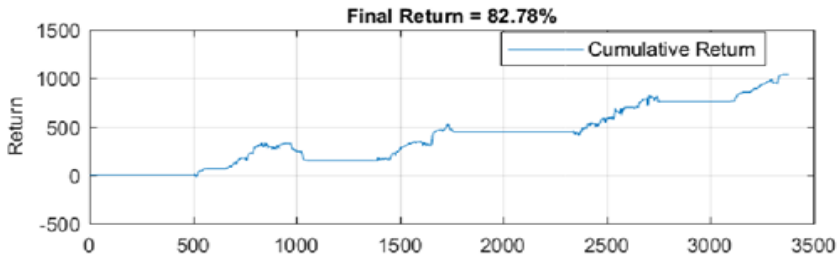
با استفاده از الگوی ارائه شده به‌منظور پیاده‌سازی استراتژی معاملات زوجی بر روی زوج سهم‌ها و با ترکیب کنترل فرایند آماری فازی در خصوص آستانه‌های معاملاتی الگوریتم مجدد اجرا و نتایج در شکل ۶ آمده است. باتوجه‌به این شکل در مجموع ۸۶۸ جفت معامله صورت‌گرفته؛ بازده ناشی از معاملات با فرض عدم وجود هزینه معاملاتی؛ میانگین بازده تجمعی ناشی از تمامی خریدوفروش‌ها ۷۶/۹۲٪ برای جفت سهم زامیاد و ایران‌خودرو دیزل بوده است که افزایش قابل‌توجهی نسبت به مدل‌های قبلی طراحی و ارائه شده در این پژوهش می‌باشد.



شکل ۶ بازده تجمعی و تعداد معاملات صورت پذیرفته در خصوص سهام ایران‌خودرو دیزل و زامیاد مدل ترکیبی پایه و کنترل فرایند آماری فازی

(منبع: یافته‌های پژوهش)

شکل شماره ۷ تعداد معاملات و بازده تجمعی حاصل از پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم معاملات زوجی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی نشان می‌دهد. نتیجه این مدل که بر روی ۷۶ زوج سهم انتخابی اجرا گردیده است، در خصوص زوج سهام زامیاد و ایران‌خودرو دیزل شامل تعداد ۸۸۶ معامله و بازده تجمعی معادل ۸۲/۷۸٪ می‌باشد. نتایج حاصل مؤید افزایش بازده نسبت به دیگر الگوهای ارائه شده در این پژوهش و به عبارتی بهبود مدل می‌باشد.



شکل ۷ بازده تجمعی و تعداد معاملات صورت پذیرفته در خصوص سهام ایران‌خودرو دیزل و زامیاد مدل ترکیبی پایه و کنترل فرایند آماری فازی

(منبع: یافته‌های پژوهش)

خلاصه نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل‌ها در جدول شماره ۲ آمده است که نشان‌دهنده میانگین یازده ۶۳/۵۹٪ مدل تلفیقی است که نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری را داشته است.

جدول ۲ خلاصه نتایج مورد بررسی در خصوص الگوریتم‌های پژوهش

مدل	متشکل از ۷۶ زوج سهم با نسبت مساوی	مجموع تعداد معاملات انجام شده	مجموع مدت‌زمان انجام شده برای هر زوج سهم
پایه	٪۴۳/۱۰	9156	179260
پایه و کنترل فرایند آماری	٪۵۵/۲۸	43165	380175
پایه، کنترل فرایند آماری و ژنتیک الگوریتم	٪۶۳/۵۹	46036	376535

(منبع: یافته‌های پژوهش)

۴-آزمون فرض

در بخش‌های پیشین به اجرای چهار الگوریتم پیشنهادی بر روی ۷۶ زوج سهم انتخابی از نه صنعت تحت بررسی پرداختیم و عملکرد و کارایی هر یک را از حیث کسب بازدهی مورد بررسی قرار دادیم. در این بخش به‌منظور آزمون فرضیه پژوهشی مبنی‌بر مقایسه عملکرد هر یک از مدل‌ها نسبت به یکدیگر از آزمون مقایسه زوجی استفاده گردیده است. بدین ترتیب ابتدا تفاوت در میانگین مدل‌های پیشنهادی بدون درنظرگرفتن هزینه معاملاتی مورد آزمون قرار گرفته است. بدین منظور فرضیه آماری برابری دو میانگین وابسته به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} H_0: \mu_B = \mu_f \ \rightarrow \ \mu_B - \mu_f = 0 \\ H_1: \mu_B \neq \mu_f \ \rightarrow \ \mu_B - \mu_f \neq 0 \end{cases} => \begin{cases} H_0: \mu_d = 0 \\ H_1: \mu_d \neq 0 \end{cases} \qquad (۵)$$

فرضیه اول: بین بازده الگوریتم معاملات زوجی به روش پایه و روش کنترل فرایند آماری فازی تفاوت معناداری وجود دارد

جدول شماره ۳ حاکی از نتایج آزمون مقایسه زوجی در خصوص این فرضیه می‌باشد. باتوجه‌به این‌که h برابر با برابر با یک می‌باشد، شواهد کافی برای پذیرش فرضیه صفر وجود ندارد. همچنین باتوجه‌به این‌که $h=1$ و ماتریس p که مقدار خطای موجود را نشان می‌دهد؛ دارای ارزشی کمتر از ۰،۰۱ می‌باشد، بنابراین تفاوت معناداری بین میانگین روش پایه و روش کنترل فرایند آماری فازی وجود دارد.

جدول ۳ خروجی آزمون مقایسه زوجی مدل پایه و روش کنترل فرایند آماری فازی

```
>> [h, p, ci, stats]=ttest(basic, Fuzzy, 'alpha', 0.01)
p=
0.00001657
ci=
-18.9062
-5.1163
stats=
tstat:-4.6042
df:75

sd:22.7428
```

(منبع: یافته‌های پژوهش)

باتوجه‌به مقادیر ci که بیانگر حد بالا و حد پایین می‌باشد؛ ازآنجاکه حد بالا و حد پایین منفی می‌باشد؛ بنابراین میانگین بازده مدل بیسیک کمتر از میانگین بازده مدل کنترل فرایند آماری فازی و میانگین بازده ناشی از دو مدل کوچک‌تر از صفر می‌باشد یعنی $\mu_B - \mu_f < 0 \rightarrow \mu_B < \mu_f$.

فرضیه دوم: بین بازده الگوریتم معاملات زوجی به روش کنترل فرایند آماری فازی و روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی تفاوت معناداری وجود دارد.

جدول شمار ۴ حاکی از نتایج آزمون مقایسه زوجی در خصوص این فرضیه می‌باشد. باتوجه‌به این‌که h برابر با برابر با یک می‌باشد، شواهد کافی برای پذیرش فرضیه صفر وجود ندارد. همچنین باتوجه‌به این‌که $h=1$ و ماتریس p که مقدار خطای موجود را نشان می‌دهد؛ دارای ارزشی کمتر از ۰.۰۱ می‌باشد، بنابراین تفاوت معناداری بین میانگین روش کنترل فرایند آماری فازی و روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی وجود دارد.

جدول ۴ خروجی آزمون مقایسه زوجی روش کنترل فرآیند آماری فازی و روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرآیند آماری فازی

```
>> [h, p, ci, stats]=ttest(spc, genetic, 'alpha', 0.01)
p=
2.4373e-10
ci=
-27.1035
-12.7074
stats=
tstat:-7.3089
df:75

sd:23.7425
```

(منبع: یافته های پژوهش)

باتوجه‌به مقادیر ci که بیانگر حد بالا و حد پایین می‌باشد؛ ازآنجاکه حد بالا و حد پایین منفی می‌باشد؛ بنابراین میانگین بازده مدل کنترل فرایند آماری فازی کمتر از میانگین بازده مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی و میانگین بازده ناشی از دو مدل کوچک‌تر از صفر می‌باشد یعنی $\mu_f - \mu_g < 0 \rightarrow \mu_f < \mu_g$.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پس از پیاده‌سازی تمامی مدل‌های طراحی شده در این پژوهش؛ به دنبال مقایسه عملکرد میان روش‌ها و نتایج حاصل از اجرای این استراتژی‌ها بوده‌ایم. باتوجه‌به نتایج ارائه شده پرواضح است که با استفاده از مجموع تعداد ۹۱۵۶ معامله در مدل پایه ۴۳/۱۰۰٪ بازده کسب شده است در اجرای مدل دوم؛ و استفاده از روش کنترل فرایند آماری فازی باتوجه‌به فازی شدن فضای تصمیم تعداد معاملات افزایش‌یافته است و به ۴۳۱۶۵ معامله بر روی این ۷۶ جفت سهم به انجام رسیده است. در کنار افزایش تعداد معاملات به‌صورت میانگین بازده استراتژی نیز افزایش‌یافته است و به ۵۵/۲۸٪ رسیده است. در مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی باتوجه‌به وجود امکان بهینه شدن مدل؛ مقادیر مربوط به پنجره‌های تخمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه شده است و بدین صورت درجه تأثیرگذاری داده‌های قدیمی کمتر گردیده است. اجرای مدل ترکیبی منتج به متوسط تعداد معاملات ۴۶۰۳۶ و میزان بازده کل ۶۳/۵۹٪ برای هر جفت سهم گردیده است.

بر اساس نتایج مدل کنترل فرایند آماری فازی و الگوریتم ژنتیک که افزایش قابل تأملی نسبت به مدل‌های پیشین در افزایش متوسط بازدهی به همراه داشت پیشنهاد می‌گردد که در خصوص پیش پینی پارامترهای مربوطه با استفاده از اطلاعات تاریخی؛ درجه تأثیر یکسانی برای همه اطلاعات در نظر گرفته نشود. بدین منظور باتوجه‌به این‌که اطلاعات نزدیک‌تر می‌بایست اثر بزرگ‌تری بر میانگین و انحراف معیار پنجره‌های تخمین داشته باشد؛ استفاده از راه‌حل‌های بهینه‌ساز نظیر الگوریتم ژنتیک می‌تواند در جهت کاهش ریسک حائز اهمیت باشد.

فهرست منابع

* بهمنش الهام و ناصری سید هادی. (۱۳۹۲) یک روش تعاملی مبتنی بر غیر فازی سازی پارامترها برای حل مساله حمل و نقل چند هدفه. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی), دوره ۱۰ , شماره ۳ (پیاپی ۳۸) ; از صفحه ۲۵ تا صفحه ۳۹ .
* طادی, مسعود, آبکار, مطهری نیا ، وحید, (۱۳۹۷). ارزیابی استراتژی معاملات زوجی با رویکرد فاصله ای در بورس اوراق بهادار تهران. دانش سرمایه‌گذاری, ۷(۲۶),ص 112-99.
* عزیززاده فاطمه, و عبادی نسرین. (۱۳۹۶) انتخاب استراتژی معاملات جفتی بهینه تحت تغییرات آماری فرایند اسپرد. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی) دوره ۸ , شماره ۳۳ ; از صفحه ۲۲۹ تا صفحه ۲۴۶ .

* فلاح پور سعید, و حکیمیان حسن.(۱۳۹۶) بررسی عملکرد سیستم معاملات زوجی در بورس اوراق بهادار تهران: رویکرد هم انباشتگی و بررسی نسبت سورتینو. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی) دوره ۸ , شماره ۳۰ ; از صفحه ۱ تا صفحه ۱۷ .
* Bowen, D. A., & Hutchinson, M. C. (2016). Pairs trading in the UK equity market: Risk and return. The European Journal of Finance, 22(14), 1363-1387.
* Caldeira, J. F., & Moura, G. V. (2013). Selection of a Portfolio of Pairs Based on Cointegration: A Statistical Arbitrage Strategy. Revista Brasileira de Finanças, 11(1), 49-80 .
* Chiu, M. C., & Wong, H. Y. (2018). Robust dynamic pairs trading with cointegration. Operations Research Letters, 46(2), 225-232.
* Farago, A., & Hjalmarsson, E. (2018). Stock price co-movement and the foundations of pairs trading. Journal of Financial and Quantitative Analysis (JFQA), Forthcoming.
* Huck, N., & Afawubo, K. (2015). Pairs trading and selection methods: is cointegration superior?. Applied Economics, 47(6), 599-613.
* Miao, G. J. (2014). High Frequency and Dynamic Pairs Trading Based on Statistical Arbitrage Using a Two-Stage Correlation and Cointegration Approach. International Journal of Economics and Finance, 6(3), p96 .
* Mikkelsen, A. (2018). Pairs trading: the case of Norwegian seafood companies. Applied Economics, 50(3), 303-318.
* Perlin, M. S. (2009). Evaluation of pairs-trading strategy at the Brazilian financial market. Journal of Derivatives & Hedge Funds, 15(2), 122-136 .
* Stübinger, J., & Endres, S. (2018). Pairs trading with a mean-reverting jump–diffusion model on high-frequency data. Quantitative Finance, 18(10), 1735-1751.

یادداشت‌ها

[1] Perlin, M. S.
[2] Caldeira, J. F., & Moura, G. V.
[3] Miao, G. J.
[4] Jump Diffusion